

следований напряженно-деформированного состояния сложных элементов конструкций, конечно-элементные модели которых наиболее полно отражают их конструктивные особенности. В некоторых случаях это позволяет обоснованно снизить консерватизм нормативных оценок. Имеется опыт применения разработанных алгоритмов решения разреженных систем линейных алгебраических уравнений для решения задач нестационарной теплопроводности методом конечных элементов. В этом случае вместо матрицы жесткости вычисляется матрица теплопроводности конструкции, а все остальные принципы построения итерационных методов решения систем линейных алгебраических уравнений переносятся на этот класс задач без изменений. То же относится и к классу задач, связанных с определением собственных частот и форм колебаний элементов ЯЭУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев А.С., Киселев А.С., Даничев В.В. Аннотация программы UZOR1. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 1999, вып. 1, с. 109—113.
2. Ортега Дж. Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем. М.: Мир, 1991. 367 с.
3. Цыбенко А.С., Крищук М.Г. Модифицированный метод Краута для решения систем линейных алгебраических уравнений высокого порядка. — Проблемы прочности, 1983, № 6, с. 62—65.
4. Писсанецки С. Технология разреженных матриц. М.: Мир, 1988. 410 с.
5. Хейгеман Л., Янг Д. Прикладные итерационные методы. М.: Мир, 1986. 448 с.
6. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. М.: Энергоатомиздат, 1989. 525 с.

Поступила в Редакцию 2.11.01

УДК 621.039.7:66.067.3

РЕГЕНЕРАЦИЯ ПЛУТОНИЯ ИЗ ОТРАБОТАВШИХ СТЕКЛОБУМАЖНЫХ ФИЛЬТРОВ ТОНКОЙ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

Ровный С.И., Гужавин В.И., Пятин Н.П., Евланов Д.С. (ФГУП ПО «Маяк»)

Глубокая очистка газоаэрозольных отходов предприятий ядерного топливного цикла является неотъемлемой и важной частью технологического процесса. Используемые в отечественной промышленности фильтры Петрянова (типа ЛАИК) изготовлены из горючих материалов. Однако на некоторых технологических переделах к ним предъявляются жесткие требования по пожаробезопасности. В этой связи интерес представляют стекlobумажные фильтры, которые удовлетворяют этим требованиям.

На ПО «Маяк» в условиях радиохимического производства по регенерации отработавшего ядерного топлива энергетических и транспортных установок в течение 5 лет проводятся опытно-промышленные испытания модульных фильтров тонкой очистки воздуха на основе микротонкого стекловолокна [1, 2], которые по своим техническим параметрам не уступают фильтрам Петрянова.

Эксплуатация фильтров очистки газоаэрозольных отходов в технологическом процессе неизбежно сопровождается накоплением на них ядерно опасных и высокотоксичных плутония и урана. Например, известно, что в условиях химико-металлургического производства на фильтрующем материале содержание плутония может достигать 50—100 г на один фильтр. В связи с этим, а также с учетом внедрения стекlobумажных фильтров необходимо разработать технологию извлечения плутония из демонтируемых фильтров и получать в конечном итоге твердые отходы, пригодные для последующей изоляции.

Известно [3], что основным компонентом стекlobумаги является микротонкое стекловолокно диаметром менее 0,5 мкм. В качестве связующего при этом используют

0,3%-ный водный раствор поливинилацетатной дисперсии или его смесь с поливиниловым спиртом в соотношении 1:1 (по сухому остатку).

В испытуемых фильтрах применяли раствор поливинилацетатной дисперсии марки ДФ 47/7С (ГОСТ 18992-80), пластифицированный дибутилфталатом. По контуру герметизации фильтрующих элементов нанесен латекс ВХВД-65 (ТУ 6-01-1170-87).

В связи с тем, что в состав стекlobумаги в основном входят оксиды кремния, алюминия, кальция и бора [3], можно было ожидать, что щелочная обработка позволит перевести их в раствор и, таким образом, во много раз уменьшить массу исходного материала. Для выбора оптимальных параметров ведения процесса было изучено влияние концентрации гидроксида натрия, соотношения между жидкой и твердой фазой и продолжительность обработки на полноту растворения стекlobумаги.

Образцы стекlobумаги обрабатывали при 105 ± 5 °С в течение 3 ч. Концентрация гидроксида натрия варьировала в диапазоне 100—650 г/л. После охлаждения суспензию фильтровали, осадок на фильтре промывали водой и сушили при 120 °С до постоянной массы. На основании исследований установлено, что оптимальная концентрация гидроксида натрия при щелочной обработке стекlobумаги составляет 100 г/л при соотношении между жидкой и твердой фазой 150 л/кг, температуре 105 ± 5 °С и времени обработки 3 ч. В этом случае полнота растворения стекловолкна достигает 80% по массе, скорость фильтрации 760 л/(м²·ч).

Вторым направлением исследований была выбрана азотно-фторидно-кислая обработка стекlobумаги. Полноту растворения изучали на смеси 7 моль/л азотной и 0,2—0,4 моль/л плавиковой кислот при 105 ± 5 °С в течение 3 ч. В процессе проведения экспериментов определяли влияние соотношения между жидкой и твердой фазой и концентрации плавиковой кислоты на полноту растворения стекlobумаги, а также скорость фильтрования раствора. Фтор-ион вводили в систему в виде плавиковой кислоты в два этапа по 0,1—0,2 моль/л в начале процесса обработки и через 1,5 ч после начала обработки. Азотно-кислый алюминий в раствор для связывания фтор-иона в алюмофторидный комплекс вводили при мольном отношении Al:F = 3 в конце процесса. Суспензию после охлаждения фильтровали, осадок на фильтре промывали 0,5 моль/л азотной кислотой и сушили при 120 °С до постоянной массы.

Результаты позволили заключить, что оптимальными параметрами процесса являются концентрация азотной кислоты 7 моль/л, плавиковой 0,3 моль/л, соотношение между жидкой и твердой фазой 145—175 л/кг, температура 105 ± 5 °С, продолжительность обработки 3 ч.

Дальнейшие исследования с учетом полученных результатов были направлены на извлечение плутония из отработавшего в производственных условиях фильтра.

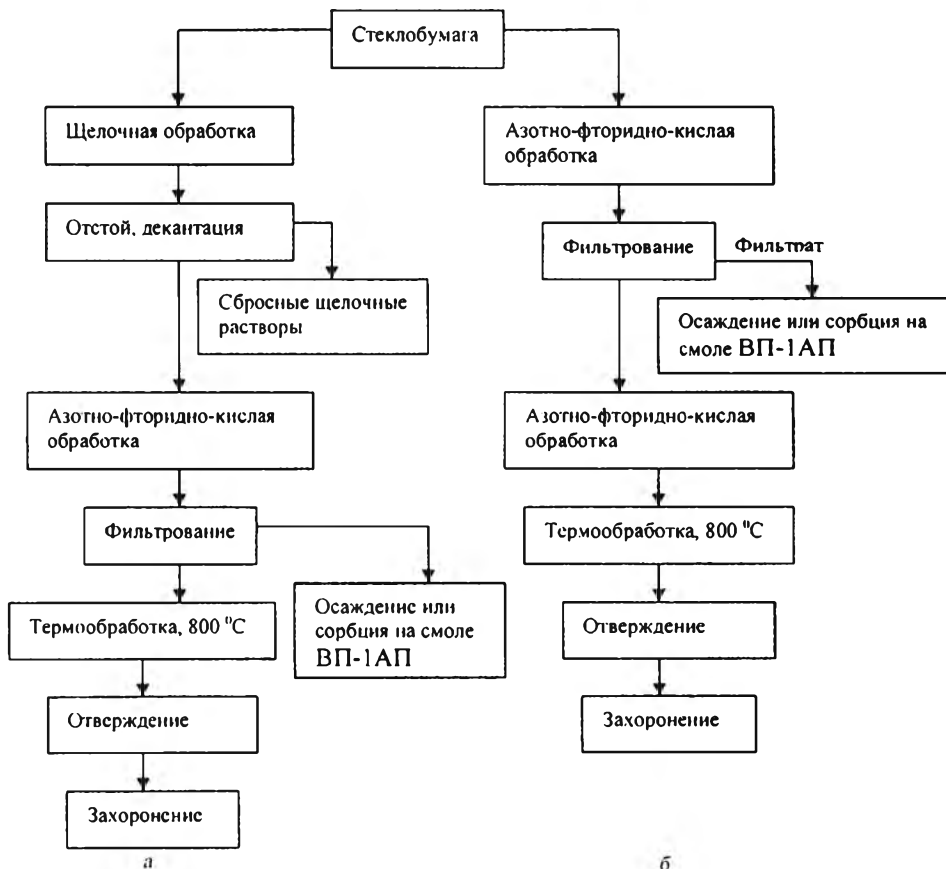
Извлекали плутоний по двум технологическим схемам. Первая технологическая схема (см. рисунок, а) включала:

щелочную обработку стекlobумаги гидроксидом натрия с концентрацией 100 г/л при соотношении между жидкой и твердой фазой 75 л/кг, температуре 105 ± 5 °С, продолжительности обработки 3 ч;

фильтрацию после охлаждения суспензии, промывку осадка на фильтре водой и сушку до постоянной массы;

извлечение из нерастворимых осадков после 5—8 щелочных обработок плутония путем обработки в смеси 7 моль/л азотной и 0,3 моль/л плавиковой кислот при соотношении между жидкой и твердой фазой 10 л/кг и температуре 105 ± 5 °С в течение 3 ч. Фтор-ион вводили в систему в виде плавиковой кислоты в два этапа по 0,15 моль/л в начале процесса обработки и через 1,5 ч после начала обработки. Азотно-кислый алюминий добавляем в раствор при мольном отношении Al:F = 3 в конце процесса обработки. Суспензию после охлаждения фильтровали, осадок на фильтре промывали 0,5 моль/л азотной кислотой и сушили до постоянной массы.

Щелочные, азотно-кислые растворы и нерастворимые осадки анализировали на содержание плутония по известным методикам.



Щелочная (а) и азотно-фторидно-кислая технологическая схема (б) извлечения плутония из стеклобумаги

Данные табл. 1 свидетельствуют, что полнота растворения стеклобумаги в растворе гидроксида натрия составляет в среднем около 50% по массе. Получаются сбросные по содержанию плутония (< 1,5 мг/л) щелочные растворы. При этом извлечение плутония в азотно-фторидно-кислый раствор (табл. 2) достаточно высокое и составляет в среднем 99,6% по массе. За одну операцию щелочной обработки стеклобумаги с последующей азотно-фторидной обработкой нерастворимых осадков по содержанию плутония отходы становятся низкоактивными.

Т а б л и ц а 1. Щелочная обработка стеклобумаги

Номер опыта	Содержание плутония в исходном материале, г/кг	Масса стеклобумаги, г	Объем раствора, мл	Концентрация плутония в растворе, мг/л	Масса нерастворимого осадка, г	Содержание плутония в нерастворимом осадке, г/кг
1	36,0	0,50	102	0,02	0,20	90
2	14,3	1,06	101	0,05	0,73	21
3	10,9	1,04	100	0,40	0,62	18
4	12,3	1,08	178	0,64	0,47	28
5	18,9	1,02	166	0,04	0,52	37

Вторая технологическая схема (см. рисунок, б) включает азотно-фторидно-кислую обработку стеклобумаги смесью 7 моль/л азотной и 0,3 моль/л плавиковой кислот при соотношении между жидкой и твердой фазой 145—175 л/кг и температурой 105 ± 5 °С в течение 3 ч. В конце процесса обработки в раствор добавляли азотно-кислый алюминий при мольном отношении Al:F = 3. Суспензию после охлаждения фильтровали, осадок на фильтре промывали 0,5 моль/л азотной кислотой, сушили до пост-

янной массы. Нерастворимые осадки после нескольких обработок (от 5 до 8) поступали на обработку по режиму первого цикла.

Т а б л и ц а 2. Извлечение плутония в азотно-фторидно-кислый раствор из нерастворимых осадков после щелочной разварки стекlobумаги

Номер опыта	Объем раствора, мл	Концентрация плутония в растворе, мг/л	Масса нерастворимого осадка, г	Полнота растворения, % по массе	Содержание плутония в нерастворимом осадке, г/кг	Извлечение плутония в раствор, % по массе
1	244	73,8	0,01	95	0,18	99,9
2	91	165,3	0,33	54	0,15	99,6
3	138	82,1	0,29	53	0,15	99,8
4	134	98,8	0,19	59	0,12	99,0
5	135	142,5	0,12	77	0,17	99,8

Результаты экспериментов, представленные в табл. 3, показывают, что извлечение плутония в азотно-фторидно-кислый раствор за две последовательные обработки составляет 99,9% по массе. Полнота растворения стекlobумаги при этом достигает 92% по массе.

Т а б л и ц а 3. Извлечение плутония из стекlobумаги в азотно-фторидно-кислый раствор

Номер опыта	Номер цикла	Масса стекlobумаги, г	Масса нерастворимого осадка, г	Полнота растворения стекlobумаги, % по массе	Объем раствора, мл	Концентрация плутония в растворе, мг/л	Извлечение плутония в раствор, % по массе
1	1	1,09	0,34	68,8	158	64	99,2
	2	0,34	0,09	91,7	50	1,4	99,9
2	1	1,01	0,33	67,3	176	129	99,6
	2	0,33	0,08	92,1	48	1,5	99,9

На основании экспериментальных данных могут быть предложены две технологические схемы регенерации плутония.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ровный С.И., Глаголенко Ю.В., Пятин Н.П. и др. Разработка и испытание бескорпусных модульных фильтров тонкой очистки. — Атомная энергия, 1998, т. 85, вып. 5, с. 411—413.
2. Зеликсон Б.М. Создание производства отечественных фильтров тонкой очистки воздуха. — В кн.: 1-я конф. Ассоциации инженеров по контролю микрозагрязнений. Владимир, 2—6 декабря 1991 г., с. 89—97.
3. Караханиди Н.Г., Кибардин Р.Н., Тупицын И.Н., Полик Б.М. Изделия из сверхтонкого стеклянного штапельного волокна. Обзорная информация, вып. 2. М., НИИГЭХИМ, 1993.

Поступила в Редакцию 27.08.01

УДК 621.039.58.68

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ СПОСОБОВ ОБРАЩЕНИЯ С ЖИДКИМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯТЦ

Кабакчи С.А. (ФГУП НИФХИ им. Л.Я. Карпова), Ковалевич О.М., Шарафутдинов Р.Б. (НТЦ ЯРБ Госатомнадзора РФ), Косарева И.М., Савушкина М.К. (Институт физической химии РАН), Ахунов В.Д., Кудрявцев Е.Г., Лебедев В.А. (Минатом России)

Основным средством обеспечения безопасности объектов ЯТЦ является реализация концепции многобарьерной глубоководной защиты, которая впервые была изложена применительно к АЭС в рекомендациях [1] и далее положена в основу